

Verificación de las Curvas de Paschen y la Ley de Peek en Microionizadores por Descarga Luminiscente

J. J. Ortiz, C. Nigri, C. Lasorsa, D. Rodriguez, P.

Perillo and N. Boggio

Departamento de Micro y Nanotecnología

Comisión Nacional de Energía Atómica

San Martín, Argentina

jjortiz@cnea.gov.ar

Guillermo P. Ortiz

Dto. Física Facultad de Cs. Exactas, Naturales

y Agrimensura

Corrientes, Argentina

gortiz@exa.unne.edu.ar

En este trabajo analizamos el sistema de ionización por descarga luminiscente para su utilización como fuente de iones en un equipo de identificación de compuestos químicos tipo IMS. Se realizaron modelos de descarga corona implementados con tecnología MEMS (Sistemas Micro-electro Mecánicos). Se propone que en la escala micrométrica es posible mejorar rendimientos, confiabilidad y demandas operativas. Así se redujo la tensión de la fuente de alimentación a menos de 1kV.

Generación de iones, movilidad, ionización, descarga glow

I. INTRODUCCION

La espectrometría de movilidad iónica (IMS) es una técnica analítica usada para separar e identificar moléculas ionizadas en fase gaseosa, basada en la medición del tiempo de vuelo de estas partículas arrastradas por un gas que a su vez son movidas por un campo eléctrico. El desarrollo de equipos del tipo IMS para detección in-situ han generado gran interés en especial en aplicaciones militares, de seguridad y ambientales[1]. Una solución alternativa a la determinación del tiempo de vuelo para la identificación de un analito es la detección por flujo cruzado (cross flow) con el cual las partículas ionizadas son desviadas con un campo transversal a la dirección de un flujo de gas de arrastre. Si bien esta propuesta ya ha sido planteada hace un tiempo atrás, existen problemas aun no resueltos que son propios de la escala de tamaños empleada para el diseño de tales dispositivos. En este trabajo investigamos si las leyes macroscópicas de las descargas luminiscentes (glow discharge) permiten determinar las tensiones de trabajo requeridas en la producción de iones para la escala micrométrica.

II. DISEÑO EXPERIMENTAL

La descarga luminiscente se obtiene aplicando una diferencia de potencial entre un par de electrodos metálicos. Se estudian dos configuraciones. La primera de estas es una geometría de platos paralelos y la segunda es de punta y plato. Se utiliza una fuente variable y pulsada a través de un módulo de control electrónico [2], esta fuente entrega una señal del tipo cuadrada entre 0V y la tensión deseada, pudiendo regularse su duración y frecuencia para evitar el deterioro del microdispositivo. La descarga es producida en una burbuja de vidrio con nitrógeno en condiciones normales de presión y temperatura. La Fig. 1 muestra un esquema del control electrónico y la burbuja de vidrio con el arreglo de ionizadores contruídos con diferentes distancias entre electrodos [3], [4]. Los microelectrodos y los pads de contacto se fabricaron en cobre sobre un sustrato de boroflow. Primeramente se aplica una capa de titanio y cobre por el método de sputtering, luego se transfiere el patrón con la geometría deseada mediante un proceso de fotolitografía. Después de revelado ese patrón se realiza una electrodeposición de cobre empleando una cuba electrolítica que permite engrosar el espesor de la capa metálica inicial. Se elimina la capa de fotoresina y finalmente a través de un proceso de ataque químico se elimina la capa inicial de titanio-cobre. Con esto el microdispositivo esta listo para los ensayos [5].

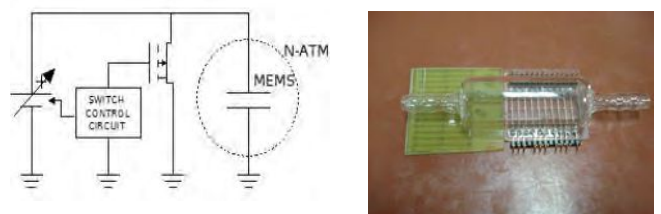


Figure 1. A la izquierda se muestra un esquema de control electrónico de descarga y a la derecha la burbuja de vidrio y los ionizadores utilizados en el ensayo.

III. MODELO FISICO -ANALITICO

Se ha empleado el software CoventorWare 2010 para simular y diseñar el proceso de fabricación del ionizador. El prototipo se elaboró en la sala limpia de microfabricación de CNEA. Básicamente existen dos modelos teóricos para diseñar y calcular sistemas de ionización por descarga eléctrica, la ley de Paschen [1], y la ley de Peek [2]. Las curvas de Paschen determinan la tensión de ruptura en función de la distancia de separación para un dieléctrico ubicado entre dos electrodos de placas paralelas[6], también llamado potencial de ignición. El dieléctrico suele ser un gas, por lo que dicho potencial se estudia en función del producto de la presión y la distancia entre electrodos. En la parte izquierda de la Fig. 2 se muestra la geometría de dos platos paralelos fabricados en cobre y a su lado la descarga eléctrica producida entre esos electrodos.

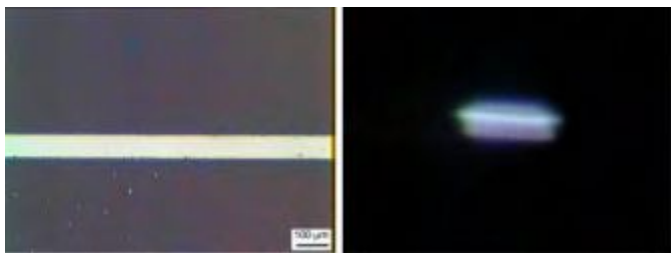


Figure 2. La parte izquierda muestra una fotografía obtenida por microscopía electrónica de los microelectrodos en la configuración de platos paralelos. Parte derecha muestra la descarga producida en el microdispositivo.

Cuando la configuración corresponde a electrodos de punta y plato, se aplica la Ley de Peek. En la parte izquierda de la Fig. 3 se muestra la geometría de punta y plato del ionizador fabricado en cobre y a la derecha la descarga luminiscente producida desde las puntas a los platos. Cada punta tiene una altura de 50 micrones.

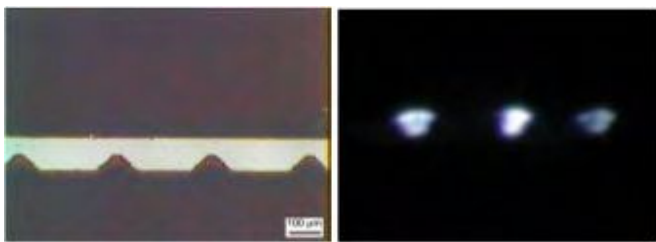


Figure 3. Parte izquierda se muestra una fotografía obtenida por microscopía electrónica de los microelectrodos en la configuración de punta y plato. Parte derecha muestra la descarga producida en el microdispositivo.

Las ecuaciones (1) y (2) determinan las curvas de Paschen para un gas, y predicen el voltaje de ruptura del dieléctrico [3].

$$V_p = B \cdot (p \cdot d) / C + \ln(p \cdot d) \quad (1)$$

$$C = \ln(A \cdot (\ln(1 + 1/\delta))) \quad (2)$$

“V_d” voltaje de ruptura, “p” presión atmosférica, “d” distancia entre electrodos, “A” y “B” son constantes propias del gas.

La ley de Peek es una fórmula empírica que establece la tensión de ruptura para una configuración punta-plato; esta concentra y amplifica la intensidad del campo eléctrico. Cuando el campo eléctrico supera la tensión crítica soportada por el gas comienza la descarga luminiscente[4].

Las ecuaciones (3) y (4) son conocidas como la ley de Peek

$$V_e = m \cdot v \cdot \delta \cdot r \cdot \ln(S/r) \cdot G \cdot v \quad (3)$$

$$G \cdot v = 30 \cdot (1 + 0.301/\sqrt{r \cdot \delta}) \quad (4)$$

“V_e” es la tensión crítica, “mv” es el factor de irregularidades de superficie, “r” radio de la punta, “S” es la distancia entre platos, “δ” factor de densidad del gas a 25°C and 760 mm Hg (es igual a uno)[7][8].

IV. RESULTADOS

Se realizan los ensayos aplicando las tensiones de prueba hasta obtener el valor de la tensión de comienzo de la descarga eléctrica. Esto se determina visualmente a través de la observación del microionizador con la ayuda de un microscopio óptico. En la Fig. 4 mostramos la tensión de disrupción versus la distancia reducida p.d. Se indican en línea continua la curva teórica de la fórmula (1) y en cruces los datos experimentales obtenidos del ensayo con los microdispositivos. En la Fig. 5 se muestra en línea continua la curva que predice la ley de Peek y en cruces los datos experimentales. Estos datos experimentales representan el valor de descarga luminiscente obtenido para cada ionizador en función de la distancia entre electrodos.

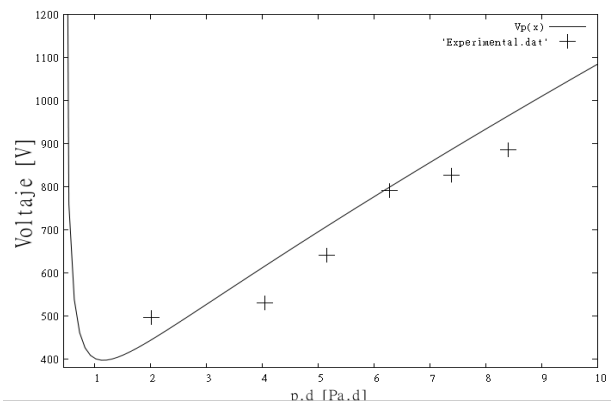


Figure 4. Se puede apreciar en línea continua la curva teórica de Paschen y con cruces se ven los datos experimentales para la configuración de electrodos de placas paralelas.

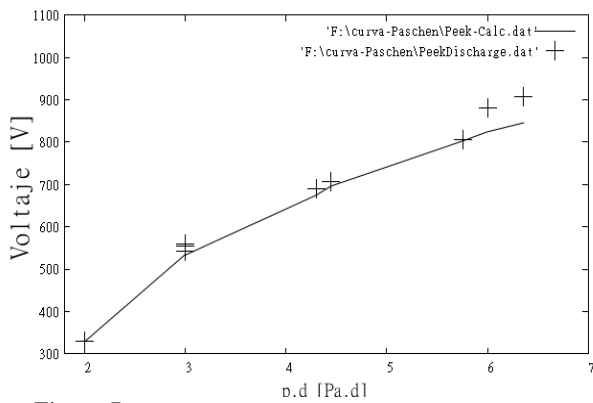


Figure 5. Se aprecia en línea continua la curva teórica dada por la ley de Peek y con cruces los datos experimentales para la configuración de punta y plato.

- [8] P. Carazzetti, Ph Renaud, H. R. Shea, "Experimental study of electrical breakdown in MEMS divises scale gaps", Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2008.

V. CONCLUSIONES

El potencial de disrupción aumenta con la distancia reducida en el regimen de descarga corona solo a partir de un valor critico. Por debajo de ese valor la teoría establece que se produce descarga del tipo Townsend, pero no ha sido apreciada en forma visual ni a través de instrumentos. Nuestros experimentos muestras que los valores explorados de distancias y geometrias son apropiados para el regimen de descarga luminiscente.

Este trabajo comprobó que las leyes de Peek y Paschen se verifican para la microescala y proporcionan información sumamente importante para el diseño de microdispositivos de descarga corona, ya que entregan una noción clara a cerca del comienzo de la descarga luminiscente, siendo esto fundamental para establecer la tensión inicial y de trabajo del sistema, así también como la determinación de la fuente eléctrica adecuada.

REFERENCIAS

- [1] G. A. Eiceman, Ion Mobility Spectrometry, New Mexico State, USA. ISBN 0-203-61617-0 (OEBFormat), 2005.
- [2] Y. An, Development of a short pulse corona discharge ionization source for ion mobility spectrometry. Review of Scientific Instruments, 76, 2005
- [3] Friedrich Paschen, "Ueber die zum Funkenubergang in Luft, Wasserstoff und Kohlensaure bei verschiedenen Drucken erforderliche Potentialdifferenz", Analen der Physik IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-29, pp.48-56, 1982.
- [4] F. W. Peek. "Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering", McGraw-Hill.
- [5] R.G. Longwitz, "Study of gas Ionization in a glow discharge and development of a micro gas ionizer for gas detection and analysis",
- [6] Thesis N° 2919, Institut de Microelectronique et Microsystemes. Lausanne, EPFL, 2004.
- [7] KTakahito Ono, Dong Young Sim and Masayoshi Esashi, "Micro-discharge and electric breakdown in a micro-gap", J Microeng. 10 (2000) 445-451.